

Resum

En el present projecte s'estudiarà l'implantació de tecnologia solar fotovoltaica de capa fina i flexible sobre les cobertes de quatre naus industrials diferents, ubicades a la localitat de Parets del Vallès.

S'ha optat per aquesta solució tècnica donat que permet obtenir energia a través de la captació solar, sense que sigui necessària la construcció d'infraestructures addicionals.

Per l'estudi es compararan els resultats i prestacions de 3 models diferents d'aquesta tecnologia, cadascun d'ells amb diferents potències (90 Wp, 153 Wp i 260 Wp).

Les simulacions realitzades, han determinat que només en una de les instal·lacions és interessant a nivell tècnic instal·lar aquesta tecnologia.

A l'anàlisi econòmica del projecte s'ha tingut en compte quin és el peatge a pagar per l'autogeneració d'energia i s'ha valorat fins a quin punt aquest peatge afecta a la viabilitat del projecte.

Per últim s'ha realitzat un estudi mediambiental en el qual s'ha valorat quin és l'impacte de fabricació de les lones i quina és la reducció de les emissions de CO₂ pel fet d'instal·lar-les.

Sumari

RESUM	1
SUMARI	3
1. GLOSSARI	5
2. PREFACI	7
2.1. Origen del projecte	7
2.2. Motivació	7
3. INTRODUCCIÓ	9
3.1. Objectius del projecte.....	9
3.2. Abast del projecte	9
3.3. Sistema solució considerat	10
3.4. Característiques dels sistemes fotovoltaics de capa fina	11
4. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	13
4.1. Principals fonts d'energia	13
4.2. Radiació solar i conceptes bàsics de la energia solar fotovoltaica.....	20
4.2.1. Criteris d'elecció i avantatges de l'energia solar fotovoltaica	22
4.2.2. L'efecte fotovoltaic	24
4.3. Situació en el món.....	25
4.4. Situació a Europa	27
4.5. Situació a Espanya	29
4.6. Futur de l'energia solar fotovoltaica	30
4.7. Autoconsum fotovoltaic	31
4.7.1. Clasificació de sistemes.....	31
4.7.2. Avantatges respecte consum de la xarxa	32
4.8. Sistema de subministrament elèctric amb balanç net	33
4.9. Barreres de la energia fotovoltaica	33
4.10. Marc normatiu actual.....	36
5. DESCRIPCIÓ DE L'ÀMBIT D'ACTUACIÓ	37
5.1. Introducció	37
5.2. Localització geogràfica.....	37
5.3. Irradiació solar i climatologia de la zona	39
6. ESTUDI TÈCNIC	42

6.1. Consideracions prèvies	42
6.2. Sistema solució.....	43
6.2.1. Lones fotovoltaïques	43
6.2.2. Equip inversor	46
6.2.3. Altres components	47
6.2.4. Sistema de medició	48
6.3. Càlculs	48
7. RESULTATS ENERGÈTICS	50
8. RESULTATS ECONÒMICS	53
8.1. Consideracions prèvies	53
8.2. Estudi d'inversió	53
9. IMPACTE MEDIAMBIENTAL	55
CONCLUSIONS	57
AGRAÏMENTS	59
BIBLIOGRAFIA	61
Bibliografia complementària	61

1. Glossari

PR: performance ratio; suma total de pèrdues que té una instal·lació fotovoltaica

FV: fotovoltaica

Pay-Back: període de retorn de l'inversió, expressat en anys

Azimut: angle de desviació respecte al sud

V_{ca} : tensió en circuit obert

V_{pmp} : tensió al punt de màxima potència

I_{cc} : intensitat de curtcircuit

I_{pmp} : intensitat al punt de màxima potència

IDAE: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía

RAIPRE: Registro Administrativo de Instalaciones Productoras en Régimen Especial

2. Prefaci

2.1. Origen del projecte

Donada la gran superfície de coberta disponible a les instal·lacions industrials catalanes i concretament a les de Parets del Vallès, es va decidir estudiar quines serien les capacitats d'autoabastir-se de plantes de diferents sectors. Per tal de determinar la viabilitat d'instal·lar lones solars fotovoltaïques que cobreixin part del consum elèctric que actualment prové de la xarxa elèctrica.

2.2. Motivació

La tendència a nivell europeu en els últims anys ha estat apostar per fonts d'energia renovables, que no contribueixen al canvi climàtic i ajuden a limitar la dependència del petroli i altres combustibles fòssils.

El potencial de l'Estat espanyol és enorme en el cas de l'energia solar; la localització geogràfica i la seva climatologia el converteixen en un lloc idoni per a la instal·lació de sistemes de tecnologia fotovoltaïca.

Com s'ha esmentat abans la localització de la península ibèrica fa que els nivells d'insolació oscil·lin entre 1.750 kWh/m^2 i 1.250 kWh/m^2 per any, el que suposa uns valors mitjos de $4,5 \text{ kWh / m}^2$ i dia.

Catalunya és especialment destacable dintre del conjunt de l'estat, ja a la notable insolació que rep cal afegir que té una pluviometria inferior a altres punts de l'estat augmentant així les hores de sol (i per tant aptes per produir energia) durant l'any.

3. Introducció

3.1. Objectius del projecte

El principal objectiu del present projecte és determinar si la instal·lació de tecnologia solar fotovoltaica a les cobertes de diferents naus industrials de Parets del Vallès, permet cobrir una part prou important de les necessitats energètiques de les mateixes.

La tecnologia emprada és la fotovoltaica de capa fina, recobrint les cobertes no utilitzades de les naus.

Així mateix s'analitzarà la viabilitat econòmica, com també l'impacte mediambiental i social.

3.2. Abast del projecte

El present projecte se centra en 2 naus industrials del sector farmacèutic ubicades a Parets del Vallès, una empresa del sector automoció amb seu també a Parets i una última planta de tractament i gestió de residus a Barberà del Vallès.

S'analitzaran els següents aspectes:

- Energia solar: funcionament, tipus de tecnologies disponibles, desenvolupament i evolució futura.
- Dimensionament de la instal·lació buscant optimitzar al màxim l'espai disponible de coberta i la generació elèctrica.
- Estudi energètic i econòmic en el qual es compararan la quantitat d'energia que es podria generar amb els consums reals de les plantes i es valorarà la viabilitat d'instal·lar aquest sistema tenint en compte el peatge a pagar per autogeneració.
- Comparació entre els diferents casos d'estudi.
- Consideracions mediambientals.

3.3. Sistema solució considerat

Tal com s'ha comentat anteriorment el bon nivell d'insolació de Catalunya fa que s'opti per l'energia solar fotovoltaica.

Els dos grans tipus entre els que escollir, són els tradicionals panells fotovoltaics i la tecnologia de capa fina.

Els panells fotovoltaics impliquen la instal·lació de suports per col·locar-los i orientar-los adequadament, requereixen una bona quantitat d'espai per la seva instal·lació i el seu pes, unit al de l'estructura que els suporta, complica la seva col·locació a cobertes, ja que aquestes generalment no estan dimensionades per suportar un pes addicional d'aquesta magnitud.

Així doncs la tecnologia de lones fotovoltaïques de capa fina és la triada com a solució. Entre els seus avantatges trobem:

- Lleugeresa: Uns $2,4 \text{ kg/m}^2$.
- Facilitat d'instal·lació: Es poden adherir sobre la coberta, sense necessitat de fixacions addicionals.
- Aprofitament de l'espai: Aprofiten un espai preexistent sense una altra finalitat específica que la de cobrir les naus.
- Seguretat davant de delinqüència: Estant en zones de difícil accés, redueix la possibilitat de robatoris i actes vandàlics.
- Baix impacte visual: Són pràcticament indetectables a peu de carrer.
- Connexió elèctrica senzilla i econòmica.
- Producció d'energia neta, no contaminant amb una tecnologia altament productiva i que contribueix a la sostenibilitat.
- Ràpida tramitació: L'obtenció dels permisos necessaris és més ràpida que en el cas dels panells fotovoltaics.

3.4. Característiques dels sistemes fotovoltaics de capa fina

La tecnologia de capa fina utilitza només entre 1-4 μm de gruix de material semiconductor per produir electricitat, requerint per tant menys processament i menys materials. Aquesta alternativa també ofereixen una avantatge important en comparació amb els mòduls fotovoltaics tradicionals i es poden utilitzar en un ampli camp d'aplicacions. Les cèl·lules solars de capa fina utilitzen substrates flexibles i lleugers que les fan ideals per integrar-les dintre de les construccions. La seva lleugeresa fa que el cost del sistema (muntatge de maquinari, cablejat i altres elements electrònics) sigui comparativament més baix que amb la resta de productes fotovoltaics.

D'altra banda aquesta tecnologia (amb els seus díodes low profile bypass diode) millora el rendiment en angles de col·locació baixos i també en dies ennuvolats.

4. Energia solar fotovoltaica

4.1. Principals fonts d'energia

Fonts d'energia no renovable:

Energia no renovable es refereix a aquelles fonts d'energia que es troben a la natura en una quantitat limitada i, un cop consumides a la seva totalitat, no poden substituir-se, ja que coexisteix un sistema de producció o extracció viable.

Generalment es distingeixen tres tipus:

- Fonts d'energia fòssil

És la que s'obté de la combustió de certes substàncies que es van produir en el subsòl a partir de l'acumulació de grans quantitats de residus d'éssers vius, fa milions d'anys.

Entre aquestes substàncies destaquen:

- Petroli i els seus derivats:

El petroli és una barreja d'una gran varietat de hidrocarburs en fase líquida, barrejats amb una sèrie d'impureses. És per destil·lació i altres processos que s'obtenen les diverses varietats de gasolina. A nivell mundial és un recurs que escasseja, al estar molt sobreexplotat.

- Carbó mineral

El carbó mineral procedeix principalment del carboni que es troba en grans quantitats al subsòl. És un recurs abundant, però està lligat a problemes ecològics més importants que els produïts pel petroli.

- -Gas natural

Està compostat principalment per metà i es correspon a la fracció més lleugera dels hidrocarburs. Es troba als jaciments en forma gasosa.

- Energia geotèrmica

La energia geotèrmica consisteix en extreure la calor del magma incandescent de la Terra. Mitjançant processos tèrmics, és possible generar electricitat, a les plantes “geotermoelèctriques”.

La proximitat del magma a la superfície terrestre de les zones amb més activitat volcànica fa que sigui fàcil la seva explotació.

El vapor o l'aigua calenta brollen espontàniament en algunes ocasions. D'altres és necessari injectar aigua als pous i extreure-la en forma de vapor. Aquest procés no es produeix per combustió.

- Energia nuclear

L'energia nuclear s'obté de la modificació de nuclis d'alguns àtoms, molt pesada o molt lleugera. En aquesta modificació, certa fracció de la seva massa es transforma en energia. La alliberació d'energia nuclear tampoc involucra combustions, però, en canvi, sí produeix subproductes agressius a l'ambient.

Es distingeixen dos processos:

- Fissió nuclear

La fissió nuclear consisteix en la desintegració d'àtoms pesats per obtenir-ne de més petits. A dins de la fissió existeixen més variants.

- Fusió nuclear

La fusió nuclear consisteix en la obtenció d'àtoms més grans a partir d'altres més petits, aconseguint així alliberar una gran quantitat d'energia durant el procés.

Fonts d'energia renovable

Una font d'energia renovable és aquella que es pot explotar indefinidament si es fa de la manera adequada. La quantitat de la que disposem a la Terra no disminueix a mida que la utilitzem.

Tipus d'energia renovable

- Energia solar

L'energia solar, com a recurs energètic terrestre, és la porció de la llum del sol que arriba a la Terra. Espanya és un país amb una alta incidència solar.

- Energia Solar Directa:

Una de les seves aplicacions és directament com a llum solar per a il·luminar, mitjançant obertures a les façanes i cobertes. També es fa servir per l'assecat de roba i altres processos industrials o artesanals, com ara la ceràmica.

Energia Solar Tèrmica

És l'energia que s'aprofita mitjançant l'escalfament d'algun medi, aprofitant la seva inèrcia tèrmica. La calefacció d'habitatges és una de les funcions principals.

Té un paper fundamental entre les diferents energies renovables conegudes avui en dia, com es veu a la següent taula 4.1

Energia	
Solar	$9,8 \times 10^{13}$
Eòlica	$1,4 \times 10^{10}$
Biomassa	$2,8 \times 10^9$
Onades	$1,7 \times 10^9$
Hidràulica	$1,7 \times 10^9$
Mareomotriz	$1,9 \times 10^9$

Taula 4.1. Energies renovables y recursos

- Energia Solar Fotovoltaica:

La energia fotovoltaica és la que s'aprofita per cel·les fotoelèctriques, que converteixen la llum en un potencial elèctric, sense cap efecte tèrmic.

HISTÒRIA

L'ús de l'energia solar ha estat aprofitat des de l'antiguitat amb diversos objectius, com ara la utilització de forns solars, com a calefacció, per a generar vapor per a maquinària, etc.

Però no va ser fins l'any 1839 en que el científic francès **Alexandre Edmon Becquerel**, pare de Henry Becquerel, experimentant amb una pila electrolítica submergida en una substància de les mateixes propietats, va observar que després d'exposar-la a la llum solar generava més electricitat, descobrint així el conegut 'efecte fotoelèctric'. Aquest efecte consisteix en la conversió de la llum del sol en energia elèctrica a partir d'una radiació electromagnètica visible o ultraviolada que irradia un metall fent que hi hagi un procés d'acceptació d'energia per part dels electrons del metall i aquest emet electrons de la capa de valència, provocant un moviment d'electrons, és a dir, un corrent elèctric.

L'efecte fotoelèctric tenia determinades característiques, que no podien explicar-se amb les teories d'aquella època, que consideraven que la llum i totes les classes de radiació electromagnètica es comportaven com a ones. Llavors, Becquerel va deixar-ho sense explicar. Sí va arribar a explicar, en canvi, que l'energia que porten els electrons emesos depèn només de la freqüència de la llum i no de la intensitat.

Més endavant Heinrich Hertz va tornar a investigar l'efecte fotoelèctric. Va realitzar un experiment en el que va fer un arc elèctric entre dos elèctrodes connectats a altes tensions. Es va adonar que si irradiava l'arc amb llum ultraviolada augmentava la seva longitud respecte la foscor.

Pels voltants de 1870 el professor **W. Grylls Adams** va realitzar un primer experiment de l'efecte fotoelèctric amb seleni (element semiconductor) observant que, en ésser exposat a la llum, aquest generava un flux d'electricitat coneguda com a 'fotoelèctrica'.

L'any 1893, **Charles Fritts** fva inventar la primera cèl·lula solar fotovoltaica, conformada per làmines de revestiment de seleni amb una fina capa d'or. Aquestes cèl·lules van ser emprades com per a sensors de llum en l'exposició de càmeres fotogràfiques i l'eficiència que permetien obtenir era d'un 1%.

Més endavant, el 1905, **Albert Einstein** va investigar més a fons l'efecte fotoelèctric, descobrint que, en il·luminar amb llum violeta (d'alta freqüència) els fotons poden arrencar els electrons d'un metall i produir corrent elèctrica. Explicava que la llum estava composta per uns petits paquets de llum carregats energèticament, els quals, en incidir sobre una superfície metàl·lica, transvasen tota la seva energia al metall. Aquesta investigació li va permetre guanyar el Premi Nobel de Física el 1921.

L'any 1946, l'inventor **Russel Ohl**, va crear i patentar les primeres cèl·lules solars de silici. Una cèl·lula fotovoltaica produeix una petita quantitat d'electricitat per mitjà de l'efecte fotoelèctric, per a aconseguir una quantitat més gran, s'uneixen moltes cèl·lules i així es forma un panell fotovoltaic.

La unió constant d'aquestes parts i la inserció de la llum solar aportant energia fa que es formi un camp electrostàtic constant, que produeix un moviment d'electrons constant (corrent continu).

El 1954, **Gerald Pearson**, de Laboratorios Bells, de forma no intencionada, va descobrir que el silici dopat amb impureses era més sensible a la llum, fet que va permetre crear una cèl·lula fotovoltaica més eficient que les existents fins el moment, amb un 6% d'eficiència. Aquest descobriment va motivar a Daryl Chaplin y Calvin Fuller a millorar les cèl·lules fotovoltaïques existents per a un ús més pràctic. Aquell mateix any es va iniciar una primera producció de panells solars emprats majoritàriament en satèl·lits espacials.

No va ser fins els anys 70 que es va estendre el seu ús general al públic.

Les làmines proposades al projecte es comencen a comercialitzar a l'any 2010.

MATERIALS QUE COMPOSEN UNA PLACA SOLAR FOTOVOLTAICA

En el procés de fabricació de plaques solars fotovoltaïques s'empra majoritàriament silici, però també hi ha altres materials com: silici amorf (a-Si), tel·lur de cadmi (CdTe), diseleni de coure i indi (CuInSe₂) i arseni de gal·li (GaAs).

De silici se'n poden trobar de dos tipus:

- Silici tipus P (P= positiu): silici dopat amb petites quantitats de bor que conté "orificis" carregats positivament.
- Silici tipus N (N= negatiu): silici dopat amb fòsfor que conté electrons addicionals

ETAPES DE FABRICACIÓ:

A continuació es descriuen les principals etapes de fabricació d'una placa solar fotovoltaica:

1. Fabricació i purificació del material bàsic de polisilici, utilitzant normalment material de deixalla procedent de la fabricació del silici de grau electrònic, que es va obtenir de roques riques en quars i es va fondre a 1400°C perquè cristal·litzés.
2. Fabricació de pastilles de silici pel creixement dels monocristalls de silici o produint lingots policristal·lins de Si, tallant-los després amb serres d'un filferro especial en làmines molt fines d'un espessor inferior a 0.5 mm i de mesures aproximades a 10 x 10cm. Aquestes són polides posteriorment per formar les cèl·lules monocristal·lines.
3. Producció de la cèl·lula fotovoltaica dopant les pastilles i afegint recobriments antirefectors y contactes metàl·lics.

4. Producció dels mòduls fotovoltaics connectant entre si cèl·lules fotovoltaïques, encapsulant-les entre fulles de vidre i afegint una caixa elèctrica.

COMPONENTS PRINCIPALS D'UNA INSTAL·LACIÓ FOTOVOLTAICA:

Els components d'una instal·lació fotovoltaica depenen del tipus d'aplicació que tindrà la instal·lació, pot ser autònoma o connectada a la xarxa. El sistema autònom està compost per plaques fotovoltaïques, acumuladors elèctrics, un regulador de càrrega i un inversor. Les instal·lacions connectades a la xarxa no incorporen acumuladors i necessiten tenir una connexió 220V.

Els acumuladors són necessaris per emmagatzemar l'energia elèctrica produïda per les plaques fotovoltaïques ja que, al llarg del dia i l'any, la intensitat de la llum varia mentre que la necessitat energètica no varia paral·lelament a aquestes fluctuacions.

La capacitat d'emmagatzematge d'energia elèctrica necessària es calcula amb el consum diari estimat i el nombre de dies d'autonomia. Normalment la capacitat dels acumuladors es refereix a un temps de descàrrega de 100 hores. És molt important que la capacitat d'emmagatzematge sigui proporcional a la capacitat de producció.

El regulador té la funció de protegir els acumuladors contra sobrecàrregues i descàrregues excessives. En cas de sobrecàrrega posa les plaques en curtcircuit i no deixa passar el corrent cap a l'acumulador. Si hi ha una descàrrega excessiva, talla el subministrament o avisa al consumidor, amb senyals, que la tensió és massa baixa.

Els inversors tenen la funció de transformar corrent continu (12V, 24V) en corrent altern (220V). També hi ha un altre element: els convertidors, que tenen la funció de regular la tensió per a diferents aparells que facin servir el corrent elèctric.

Abans de fer una instal·lació fotovoltaica o fototèrmica s'han de tenir en compte diferents factors:

a) S'ha de saber el nombre de mòduls fotovoltaics necessaris: això es calcula mitjançant la següent fórmula:

Mòduls FV necessaris = Demanda diària (Wh) / energia subministrada pel mòdul (Wh)

b) Saber el pressupost disponible.

c) Zona dels països on es vol instal·lar, és a dir, quantitat d'irradiació solar, temperatura, posició respecte l'eix de coordenades, etc.

Zona on l'instal·larem, depenent si hi ha xarxa elèctrica o no hi ha. Si hi ha xarxa elèctrica hi ha l'opció de posar bateries o no, si no posem bateries aquesta electricitat produïda serà aprofitada per l'habitatge i la restant anirà a parar a la xarxa elèctrica. Si posem bateries l'energia elèctrica serà consumida per l'habitatge i la restant s'emmagatzemarà a les bateries per ser utilitzada més tard.

En canvi si l'habitatge està aïllat de la xarxa elèctrica només hi ha una opció que és la utilització de les bateries. Els mòduls fotovoltaics produiran energia durant el dia que s'emmagatzemarà a les bateries. Aquestes guardaran l'energia que podrà ser utilitzada més tard.

- Energia eòlica

La energia eòlica és aquella energia ontinguda del vent, es a dir, la energia cinètica generada per efecte dels corrents d'aire, i que és transformada en altres formes útils per a les activitats humanes. Ha sigut aprofitada des de l'antiguitat per a moure vaixells impulsats per veles o fer funcionar la maquinària dels molins al moure les aspes. La energia eòlica és un recurs abundant, renovable, net i ajuda a disminuir les emissions de gasos d'efecte hivernacle. Al reemplaçar la termoelèctrica a base de combustibles fòssils, la qual cosa la converteix en una energia verda. El seu defecte més important és la seva intermitència.

- Energia de la biomassa

La forma més antiga d'aprofitament de la energia solar, inventada per la mateixa natura, és la fotosíntesi. Mitjançant aquest mecanisme, les plantes elaboren el seu propi aliment i el d'altres ésser vius de les diferents cadenes alimentícies. De la fotosíntesi, també es pot obtenir moltes aplicacions amb un alt valor energètic. Es poden utilitzar la energia solar per a produir substàncies amb alt contingut energètic com l'alcohol i el metà.

- Energia de les ones

També s'ha proposat aprofitar el moviment de les ones del mar per a generar energia elèctrica. Les ones són produïdes per l'efecte del vent sobre l'aigua. Es pot considerar un efecte de la energia eòlica.

- Energia hidràulica

Es denomina energia hidràulica a aquella que s'obté de l'aprofitament de les energies cinètica i potencial de la corrent de l'aigua o mareas. Es considera un tipus d'energia verda quan el seu impacte ambiental és mínim quan utilitza l'energia de l'aigua sense represar-la, en cas contrari, es considerada una energia renovable.

La seva utilització més significativa la constitueixen les centrals hidroelèctriques de represa, encara que no són considerades formes d'energia renovables per l'alt impacte ambiental que produeixen.

Quan el Sol escalfa la Terra, a més de generar corrents d'aire, fa que l'aigua del mar s'evapori i ascendeixi per l'aire movent-se cap a regions muntanyoses, per a després precipitar-se en forma de pluja. Aquesta aigua es pot col·lectar i reposar mitjançant preses. Part de l'aigua emmagatzemada es deixa sortir per moure una turbina amb generadors d'energia elèctrica.

- Energia mareomotriu

La energia mareomotriu és la que s'obté aprofitant les marees, és a dir, la diferència d'alçada mitja dels mars segons la posició relativa de la Terra i la Lluna, i que resulta de l'atracció gravitatòria de la última i del Sol sobre les masses d'aigua dels mars. Aquesta diferència d'alçades pot aprofitar-se posant parts mòbils al procés natural d'ascens o descens de les aigües, junt a mecanismes de canalització i dipòsit, per a obtenir moviment en un eix.

Acoplant aquest sistema a un generador, es pot produir energia elèctrica. És una energia més útil i aprofitable. És un tipus de reserva neta.

És un recurs renovable i la seva font no s'esgota per la seva explotació, no es produeixen subproductes contaminants.

El seu gran impediment és la relació entre el cost de la instal·lació dels dispositius pel seu procés i la energia produïda.

4.2. Radiació solar i conceptes bàsics de la energia solar fotovoltaica

El Sol és una font d'energia neta, inesgotable, abundant i disponible en gairebé tota la superfície del planeta, és la principal font d'energia renovable. Aquest, envia a la Terra energia radiant amb una potència mitja de $3,7 \times 10^{14} \text{TW}$, de la que arriba a la superfície terrestre 173.000TW , o el que és el 9000W/m^2 . La figura 4.2 correspon a la radiació solar segons les zones europees.

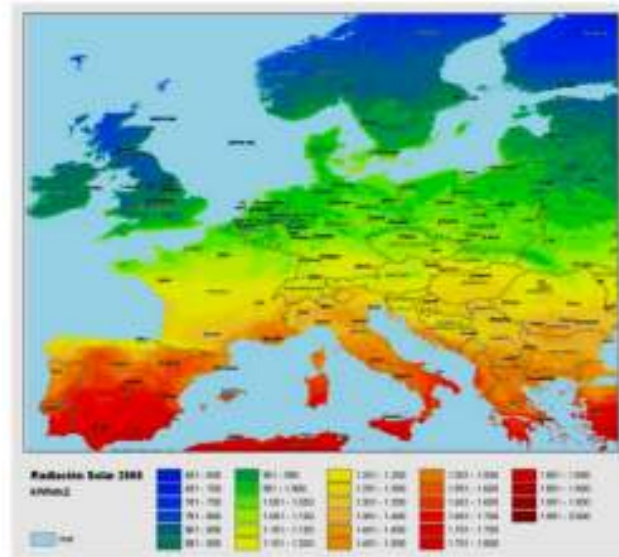


Figura 4.1: Radiació solar segons zona europea

La radiació solar és el conjunt de radiacions electromagnètiques emeses pel Sol. El Sol és una estrella que es troba a una temperatura mitja de 600K. En el seu interior tenen lloc una sèrie de reaccions de fusions nuclears, que produeixen una pèrdua de la massa que es transforma en energia. Aquesta energia alliberada del Sol es transmet a l'exterior mitjançant radiació solar. El Sol es comporta pràcticament com un cos negre el qual emet energia seguint la llei de Planck a la temperatura ja citada. La radiació solar es distribueix des de l'infraroig fins a l'ultravioleta. La magnitud que mesura la radiació solar que porta a la Terra és la irradiància, que mesura la energia que, per unitat de temps i àrea, arriba a la Terra. La seva unitat és el W/m^2 .

Les condicions de funcionament d'un mòdul fotovoltaic depenen de variables externes tals com la radiació solar i la temperatura de funcionament. Per a poder efectuar el disseny d'una instal·lació solar fotovoltaica es necessita saber la radiació del lloc. Per aconseguir-ho s'ha de disposar dels valors de la radiació solar actualitzats a la nostra província.

La energia solar té com a major inconvenient poder convertir-la d'una forma eficient en energia aprofitable. La tecnologia actual en aquest sentit va dirigida en dues direccions: conversió elèctrica i conversió tèrmica.

La conversió directa en energia elèctrica es produeix a les cèl·lules solars i es basa en l'efecte fotovoltaic. Aquest apartat té com objectius donar una visió general de l'estat actual i les aplicacions d'aquesta energia.

L'energia solar fotovoltaica és aquella que s'obté mitjançant el procés directe de la transformació de la energia del sol en energia elèctrica.

Aquesta definició de l'energia solar fotovoltaica, encara que breu, conté aspectes importants sobre els quals es profunditzarà.

- El procés de transformació de la energia del Sol es pot dur a terme de dues maneres:
- A la primera, s'utilitza una part de l'espectre electromagnètic de l'energia del Sol per a produir calor. A l'energia obtinguda se li diu solar tèrmica. La transformació es realitza mitjançant els col·lectors tèrmics.
- A la segona s'utilitza l'altra part de l'espectre electromagnètic de l'energia del Sol per a produir electricitat. A aquesta energia se li diu fotovoltaica. La transformació es realitza mitjançant mòduls o panells solars fotovoltaics.

És necessari disposar d'un sistema forçat per equips especialment construïts per a realitzar la transformació de l'energia solar en energia elèctrica. Aquest sistema reb el nom de sistema fotovoltaic i els equips que el formen reben el nom de components fotovoltaics.

Els sistemes fotovoltaics tenen moltes aplicacions, com l'alimentació de sistemes d'emergència o enllumenats aïllats, que són factibles a qualsevol lloc.

En el cas particular d'Espanya, els sistemes fotovoltaics són una alternativa molt interessant, des de la perspectiva tècnica, doncs la regió disposa durant tot l'any d'abundant radiació solar.

4.2.1. Criteris d'elecció i avantatges de l'energia solar fotovoltaica

Se sap que l'energia mitja anual que incideix sobre cada metre quadrat de la Terra és d'uns 5kWh. El valor mig per un dia d'aquesta energia és d'uns $0,2\text{kWh/m}^2$. El problema que existeix és que la Terra té una trajectòria al voltant del Sol que fa que la inclinació amb la que incideixen els raigs solars sobre la superfície variï al llarg del dia i de l'any.

En una determinada latitud com la d'Espanya, la inclinació del Sol sobre una superfície horitzontal va variant entre els 0° i els 20° a l'hivern i entre els 0° i els 60° a l'estiu.

Les principals raons per a triar l'energia solar fotovoltaica en detriment d'altres són:

- Simplicitat

Els sistemes solars fotovoltaics generen electricitat directament a partir de la llum del Sol. En certa mida, es poden arribar a adquirir com si fossin un kit i, fins i tot en el cas més complex de sistemes de connexió a la xarxa, requereixen un mínim de manteniment. Si es

tracta de sistemes aïllats serà necessari disposar d'un sistema d'emmagatzament en bateria de llarga duració.

- Modularitat

Un sistema fotovoltaic al disposar de mòduls sempre es podrà ampliar amb nous elements.

- Duració

Els mòduls fotovoltaics es fabriquen de manera que poden resistir tot tipus de fenòmens meteorològics adversos. Els fabricants garanteixen els panells per períodes de 30 anys.

- Seguretat

En un sistema fotovoltaic no existeix cap tipus de risc potencial que pugui afectar a persones o materials. No existeixen elements inflamables i no atreuen els raigs. Els inversors, que connecten el sistema fotovoltaic amb la xarxa elèctrica, funcionen amb xips que els fan molt fiables.

La producció d'energia amb fonts renovables contribueix a desenvolupar un planeta net i sostenible. La societat està cada cop més concienciada amb els beneficis mediambientals i econòmics de les energies renovables.

L'energia solar fotovoltaica ofereix nombroses avantatges competitives respecte a altres fonts d'energia. Entre elles destaquen les següents:

1. El Sol és una font energètica inesgotable.
2. No produeix sorolls ni emissions contaminants ni gasos tòxics.
3. No precisa d'un subministre exterior, no consumeix combustible ni necessita presència d'altres recursos com l'aigua o el vent.
4. Les centrals fotovoltaiques ofereixen una rentabilitat duradera ja que el seu funcionament pot allargar-se durant més de 25 anys.
5. L'energia necessària per a fabricar un mòdul representa entre 1,5 i 2,5 anys de la vida productiva del mòdul.
6. Els mòduls fotovoltaics poden ser reciclats al final de la seva vida útil.
7. Els mòduls fotovoltaics ofereixen una fàcil instal·lació i requereixen un manteniment mínim.

8. La tecnologia solar fotovoltaica permet generar electricitat en zones rurals remotes.
9. La versatilitat a la utilització d'alguns mòduls fotovoltaics permet la seva integració en edificis.
10. El sector fotovoltaic s'ha convertit en un sector generador de feina i riquesa.
11. L'energia solar fotovoltaica redueix la dependència energètica dels països.

4.2.2. L'efecte fotovoltaic

L'energia solar fotovoltaica transforma la radiació en electricitat i es pot diferenciar de l'energia solar tèrmica que aprofita la calor generada per la radiació.

L'efecte fotovoltaic (FV) és la base del procés mitjançant el qual una cèl·lula FV converteix la llum solar en electricitat. La llum solar està composta per fotons, o partícules energètiques.

Aquests fotons són de diferents energies, corresponents a les diferents longituds d'ona de l'espectre solar. Quan els fotons incideixen sobre la cèl·lula FV poden ser reflectits o absorbits (poden passar a través). Únicament els fotons absorbits generen electricitat. Quan un fotó és absorbit, l'energia del mateix es transfereix a un electró d'un àtom de la cèl·lula. Amb aquesta nova energia, l'electró és capaç d'escapar de la seva posició normal associada amb un àtom per formar part d'un corrent en un circuit elèctric.

Les parts més importants de la cèl·lula solar són les capes de semiconductors, que és on es crea el corrent d'electrons. Aquests semiconductors són especialment tractats per formar dues capes diferents dopades (tipus p i tipus n) per formar un camp elèctric, positiu en una part i negatiu en l'altra. Quan la llum solar incideix en la cèl·lula, s'alliberen electrons que poden ser atrapats pel camp elèctric, formant corrent elèctric. És per això aquestes cèl·lules es fabriquen a partir d'aquest tipus de materials, és a dir, materials que actuen com a aïllants a baixa temperatura i com a conductors quan s'augmenta l'energia.

A més dels semiconductors, les cèl·lules solars estan formades per una malla metàl·lica superior o un altre tipus de contacte per recol·lectar els electrons del semiconductor i transferir-los a la càrrega externa i un contacte posterior per completar el circuit elèctric. En la part superior de la cèl·lula hi ha un vidre o un altre tipus de material encapsulat i transparent per segellar-la i protegir-la de les condicions ambientals, i una capa anti reflexiva per augmentar el nombre de fotons absorbits.

Les cèl·lules FV converteixen l'energia de la llum en energia elèctrica. El rendiment de conversió és la proporció de llum solar que la cèl·lula converteix en energia elèctrica

fonamental en els dispositius fotovoltaics, ja que l'augment de rendiment fa de l'energia solar FV una energia més competitiva amb altres fonts.

Aquestes cèl·lules estan connectades unes amb unes altres, encapsulades i muntades sobre una estructura suport o marc de manera que conformen un mòdul fotovoltaic. Els mòduls estan dissenyats per subministrar electricitat a un determinat voltatge (normalment 12 o 24V). El corrent depèn del nivell d'insolació.

L'estructura del mòdul protegeix a les cèl·lules del medi ambient sent aquestes molt duradores i fiables. Encara que un mòdul pot ser suficient per a moltes aplicacions, dues o més mòduls poden ser connectats per formar un generador FV. Els generadors o mòduls fotovoltaics podrecen corrent contínua (CC) i poden ser connectats en sèrie o en paral·lel per poder produir qualsevol combinació de corrent i tensió.

Un mòdul o generador FV per si mateix no bomba aigua o il·lumina una casa durant la nit, per a això és necessari un sistema FV complet que consisteix en un generador FV al costat d'altres components. Aquests, varien i depenen del tipus d'aplicació o servei que es vol proporcionar.

Els sistemes fotovoltaics es poden classificar com a autònoms o connectats a la xarxa elèctrica. En definitiva i com podem veure, ens trobem davant una font d'energia, que a més de renovable se'ns presenta com una clara aposta de futur de cara al plantejament energètic en els propers anys.

4.3. Situació en el món

L'energia solar fotovoltaica ha experimentat un creixement exponencial en els últims anys, impulsada per la necessitat d'assumir els reptes que en matèria de generació d'energia es presenten.

Aquest creixement s'ha produït gràcies als mecanismes de foment d'alguns països, que, com Espanya, han propiciat un gran increment de la capacitat global de fabricació, distribució i instal·lació d'aquesta tecnologia.

A la fi de 2010, la potència acumulada al món era d'aproximadament 40.000 MWp segons dades de la European Photovoltaic Industry Association (EPIA), dels quals prop de 29.000 MWp, un 72%, es localitza en la Unió Europea. Per als propers anys s'espera que el continu creixement de l'última dècada a nivell mundial es mantingui.

Les tres àrees de major interès al món, segons la potència acumulada, són Europa (destacant Alemanya i Espanya, amb més d'un 52% del total mundial), Japó i EUA Japó

amb prop de 3.622 MW acumulats i EUA amb aproximadament 2.727 MW representen el 9% i el 6,80% respectivament de la potència total. En el següent gràfic (veure figura 4.2.) es representa l'històric de la potència acumulada a nivell mundial en els últims anys, apreciànt-se clarament el creixement exponencial.

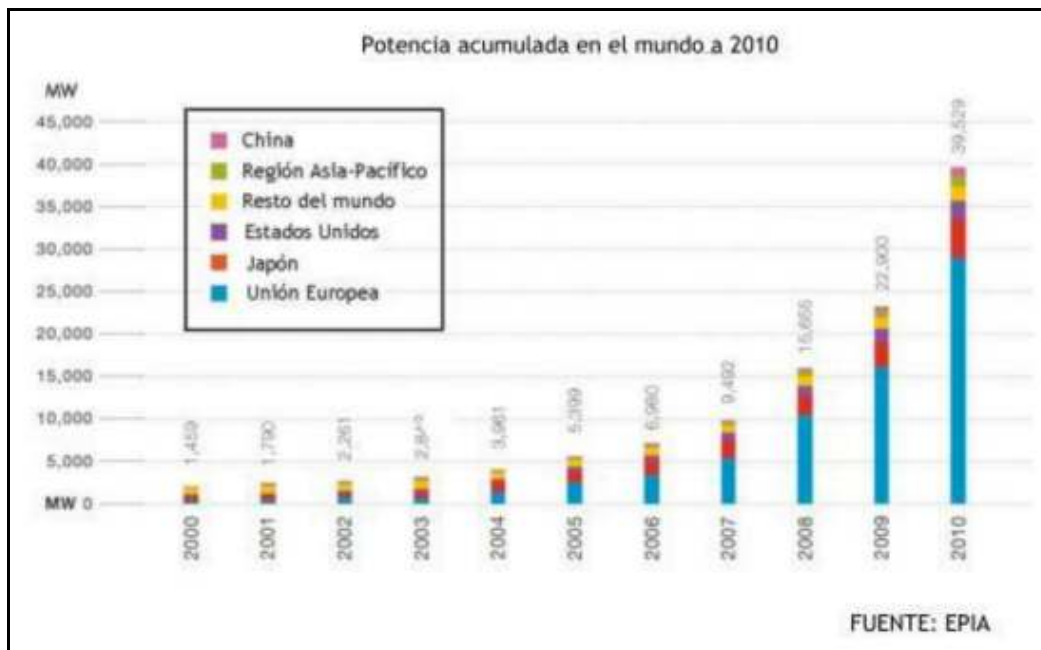


Figura 4.2. Potencia acumulada en el món en 2010

A curt termini és previsible que aquesta distribució del mercat es mantingui, si bé hi ha països que comencen a despuntar, la qual cosa fa suposar també que en el futur el pes relatiu dels països amb més potència no serà tan preponderant com en l'actualitat. Així països com Itàlia, que es converteix l'any 2009 al segon mercat mundial, amb 711 MW instal·lats, i l'any 2010 s'estimen uns 2.321 MW més. A Europa la República Txeca que va instal·lar en 2009 411 MW i en 2010 aproximadament uns 1.490 MW, i Bèlgica 210 MW en 2010. Japó i Estats Units segueixen mantenint-se en les seves posicions amb 990 MW i 980 MW instal·lats.

Les dades més rellevants de la indústria solar fotovoltaica al món són:

- Els països principals per potència instal·lada en 2010, per ordre, van anar:

Alemanya (7.408 MW), Itàlia (2.321 MW), República Txeca (1.490 MW) Japó (990 MW) i EUA (980 MW).

- La potència mundial instal·lada l'any 2010 va ser de 16.600 MW, la qual cosa va suposar

un increment del 72% de la potència mundial acumulada pel que fa a l'any 2009.

- El 79% de la potència mundial instal·lada en 2010 va ser en la Unió Europea, amb més de 13.240 MW. Dins de la Unió Europea el mercat alemany va ser clarament el preponderant representant el 59% de tot el mercat europeu.
- Japó ha instal·lat 990 MW en 2010 arribant a una potència total instal·lada de 3,6 GW.
- EUA va instal·lar en 2010 980 MW en 2010, aconseguint aproximadament els 2,7GW.
- Italia con una potencia total acumulada de 3,4 GW se convierte en el segundo mercado mundial en el año 2009 y 2010, habiendo instalado 711 MW y 2.321 MW respectivamente.

4.4. Situació a Europa

A Europa, segons dades de EurObserv'ER, la potència instal·lada ascendia a la fi de 2010 a 29.327 MWp, repartits entre 29.173 MWp d'instal·lacions connectades a xarxa i 154 MWp d'instal·lacions aïllades de la xarxa elèctrica. En la següent figura 4.3. es mostra les potències acumulada en 2010 als principals països de la Unió Europea.

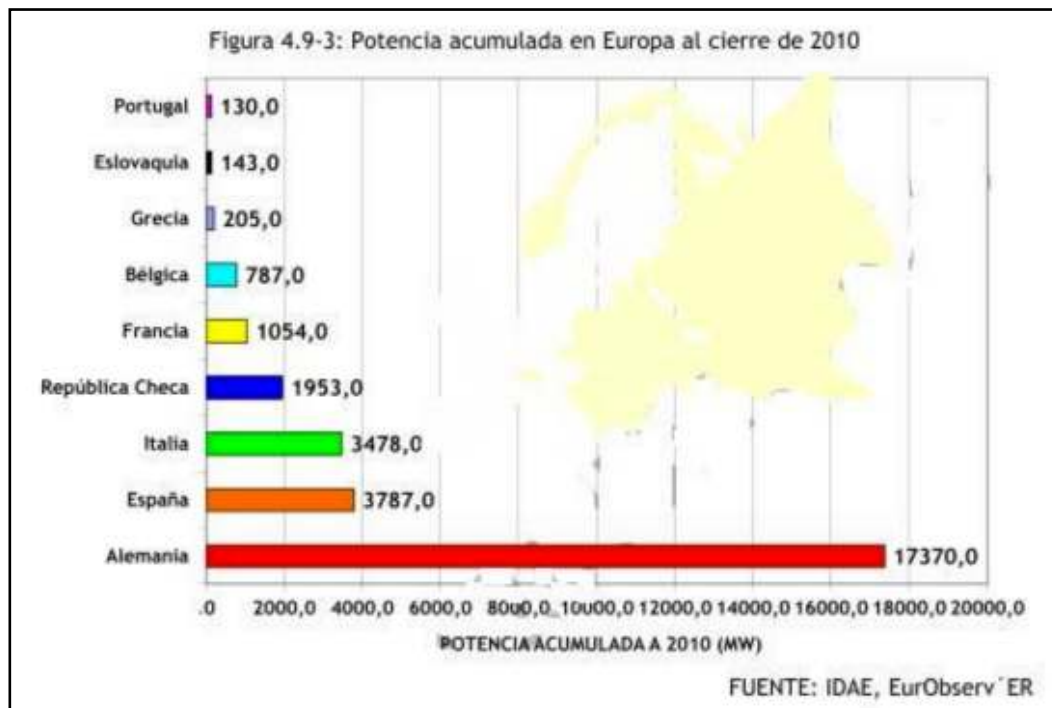


Figura 4.3: Potència acumulada a Europa el 2010

Alemanya és el país de la Unió Europea amb major potència fotovoltaica acumulada, amb 17.370 MW instal·lats en 2010. Domina clarament el mercat europeu, representant el 59 % d'aquest. Espanya, amb 3.787 MW acumulats, és el segon país per potència acumulada en 2010.

L'any 2008 Espanya va ser el primer país per potència instal·lada, amb 2.705 MW, enfront dels 1.809 MW d'Alemanya, que va anar el segon país del món. La potència instal·lada a Espanya en 2009 no va obtenir un increment tan fort com l'any anterior a causa del canvi de regulació del sector. El tancament de 2010 mostra un increment pel que fa a 2009.

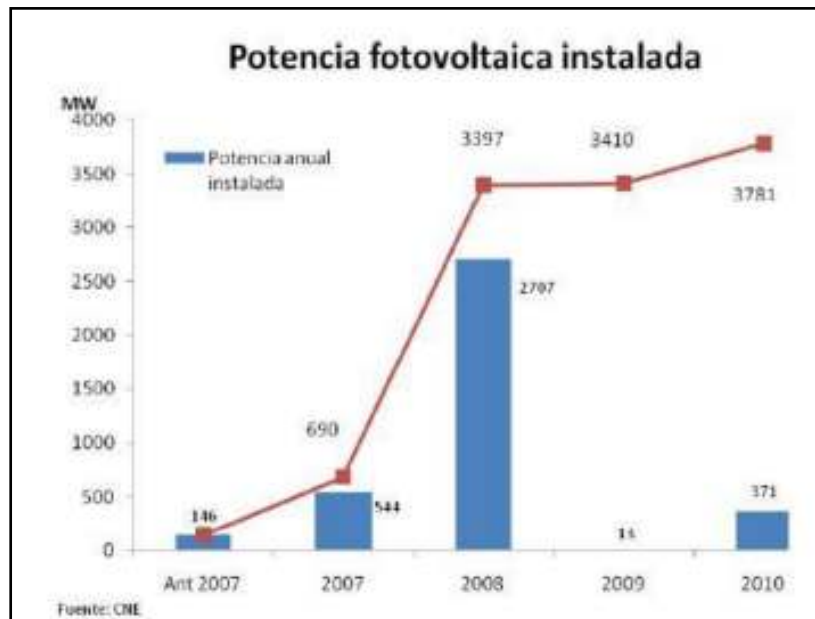
Entre la resta de països destaquen Itàlia, República Txeca, Bèlgica i França, que estudien polítiques de desenvolupament a semblança d'Alemanya i Espanya. Cal destacar en aquest sentit al govern italià, que mitjançant l'aprovació del Nou Conto fixa una cosina fixa addicional al preu de mercat de l'energia. Aquesta cosina varia segons el nivell d'integració de la instal·lació i és vàlida durant els 20 primers anys d'explotació.

El creixement del sector fotovoltaic a Itàlia, per tant, s'assenta sota les premisses d'incentius i la simplificació dels tràmits administratius. Itàlia, amb aquestes polítiques, ha aconseguit uns 711 MW instal·lats l'any 2009 i un total acumulat l'any 2010 de 3.478 MW.

4.5. Situació a Espanya

Espanya es situa com a segon país a nivell mundial després d'Alemanya, en potència instal·lada. La potència total acumulada l'any 2010 va aconseguir els 3.787 MW.

A continuació es mostra l'evolució de potència instal·lada anualment i la total acumulada a



Espanya connectada a xarxa fins a 2010. (Veure figura 4.4.).

Figura 4.4. Potència fotovoltaica instal·lada

Espanya és un dels països amb més hores d'irradiació solar en tot el Mediterrani. La major part del seu territori, excloent Canàries, rep més de 2.500 hores de sol a l'any. No obstant això, en la península ibèrica no s'aprofita com caldria esperar aquesta benedicció climatològica per convertir-la en energia.

En el pol oposat, Alemanya, país amb molt menys sol, és el líder mundial en la producció d'aquesta energia. Cada any, el Sol llança sobre la Terra 4.000 vegades més energia que la que es consumeix. L'objectiu marcat per la UE és aconseguir que en el 2020 el 20% del consum energètic procedeixi de renovables, un gran benefici individual i col·lectiu.

4.6. Futur de l'energia solar fotovoltaica

Una vegada vistes els avantatges incomparables d'aquest tipus d'energia, tant a nivell ecològic com a econòmic, es pot pensar que aquesta serà una de les grans energies del futur.

És d'esperar que la seva part en la producció mundial augmenti en els propers anys.

Des de Brussel·les es demana que en 2020 amb caràcter vinculant, el 20% del consum d'energia de la Unió Europea sigui d'origen renovable. Aquest acord requereix coherència i voluntat política dels grans governs europeus perquè es transformi en les decisions que tant han proclamat molts d'ells però que pocs ho practiquen.

En el cas d'Espanya, aquest acord significa un respall en el sector de les energia renovables que porta més de vint anys reclamant un marc econòmic i normatiu que desenvolupi el mercat de les renovables com a aposta tecnològica i innovadora enfront d'un model de creixement econòmic basat exclusivament en el consum d'hidrocarburs.

El gran repte per a Espanya és incrementar el mercat i la demanda de l'energia solar fotovoltaica com s'ha fet amb l'eòlica. En el cas de l'energia eòlica està el cap mundial mentre que la fotovoltaica no s'està explotant tot el que es podria donada la gran radiació solar de la qual disposa la situació del país. En comparar la potència acumulada a Alemanya i adonar-se que són 10 vegades més que a Espanya mentre que la radiació és un 35% menys ens fa una idea de l'oportunitat que s'està perdent.

L'energia fotovoltaica ha augmentat la seva eficiència en gran forma durant les últimes dècades, però encara no ho ha fet prou per entrar de manera massiva al mercat. S'estima que el futur de l'energia solar no està lligat únicament a les aplicacions o utilitats que es puguin obtenir d'ella, si no als costos que les persones hagin d'abonar per una instal·lació de tipus solar.

Els inversors d'instal·lacions solars fotovoltaiques augmentarien si el cost d'inversió inicial per a ells a l'hora d'adquirir panells fotovoltaics fos menor, o si les subvencions dels Estats anessin més altes i els tràmits burocràtics tinguessin més fluïdesa.

Actualment, l'accés a la xarxa elèctrica a Espanya requereix una sèrie de permisos de l'administració i l'autorització de la companyia elèctrica distribuïdora de la zona.

Aquesta, té l'obligació de donar punt de connexió a la xarxa elèctrica, però en la pràctica, la paperassa i la reticència de les elèctriques estan frenant l'impuls de les energies renovables.

Les elèctriques busquen motius tècnics com la saturació de la xarxa per controlar els seus interessos en altres fonts energètiques i la intenció de bloquejar la iniciativa dels petits promotors d'energia solar fotovoltaica.

Aquesta situació provoca una greu contradicció entre els objectius de la Unió Europea per impulsar les energies netes i la realitat d'una escassa liberalització a Espanya del sector energètic que impedeix l'enlairament i la lliure competitivitat de les energies renovables.

4.7. Autoconsum fotovoltaic

El autoconsum fotovoltaic fa referència a la producció individual d'electricitat per al propi consum, a través de panells solars fotovoltaics.

La capacitat de produir, gestionar i consumir l'energia generada mitjançant energia fotovoltaica, ja sigui amb o sense acumulació de la mateixa és una manera senzilla, neta i rendible. Des d'habitatges residencials, fins a hotels, negocis o indústries, avui dia amb un sistema fotovoltaic es pot ser capaç de produir una energia pròpia i satisfer en gran manera els consums energètics.

Gràcies als avanços tecnològics, la sofisticació i l'economia d'escala, el cost de l'energia solar fotovoltaica s'ha reduït de forma constant des que es van fabricar les primeres cèl·lules solars comercials i el seu cost mitjà de generació elèctrica ja és competitiu amb les fonts d'energia convencionals en un creixent nombre de regions geogràfiques, aconseguint la paritat de xarxa.

4.7.1. Clasificacion de sistemes

Els sistemes de autoconsum es classifiquen en aïllats o amb connexió a xarxa segons estiguin o no connectats a la xarxa elèctrica.

- Sistemes aïllats

El sistema aïllat s'utilitza per produir electricitat que es consumeix en l'instant o s'emmagatzema en una bateria elèctrica per a un posterior ús.

- Sistemes de connexió a xarxa

El sistema de connexió a xarxa permet abocar els excessos d'electricitat, és a dir, la que no es consumeix, a la xarxa elèctrica. Est, permet obtenir un subministrament d'electricitat amb el mecanisme de compensació diferida o balanç net, un sistema de compensació de

saldos, gestionat per les companyies elèctriques, que descompta de l'electricitat obtinguda de la xarxa, els excessos de producció del sistema de autoconsum. Aquesta pràctica està subjecta a la legislació de cada país.

- Sistemes formats principalment pel conjunt de panells o lones fotovoltaïques i inversors. A part d'aquests components també hi ha bateries, carregadors, controladors i accessoris per muntar el sistema.
- Els panells o lones fotovoltaïques estan formats per un conjunt de cel·les en les quals la llum incideix sobre elles i així produeixen energia.
- L'inversor és l'encarregat de transformar el corrent continu en alternu i s'uneix als panells mitjançant cables.
- Sistemes commutats amb la xarxa

També es pot fer un sistema commutat amb la xarxa; bé amb un commutador a part o integrat en l'inversor, que commuten la instal·lació solar amb la de la xarxa en 10 mil·lisegons; amb el que convertim la instal·lació solar en una aïllada. Es necessiten unes bateries amb una mica d'acumulació, la qual cosa no encareix massa la instal·lació en comparació de la de connexió, però pot acollir-se a la legislació d'aïllada.

4.7.2. Avantatges respecte consum de la xarxa

- Una gestió de l'energia consumida molt més precisa, un major control de la seva producció i consum suposen un estalvi considerable.
- Es genera un sistema distribuït de generació elèctrica que redueix la necessitat d'invertir en noves xarxes i redueix les pèrdues d'energia pel transport de l'electricitat a través de la xarxa.
- Contribuir en la reducció de les emissions de CO₂ a l'atmosfera i per tant evitar el sobreescalfament del planeta.
- Es redueix la dependència energètica del país amb l'exterior.

S'eviten problemes per proveir tota la demanda en hora punta, coneguts pels talls d'electricitat i les pujades de tensió.

- Es minimitza l'impacte de les instal·lacions elèctriques en el seu entorn.

4.8. Sistema de subministrament elèctric amb balanç net

El subministrament elèctric amb balanç net és un sistema de compensació de saldos d'energia de manera instantània o diferida, que permet als consumidors la producció individual d'energia per al seu propi consum.

L'objectiu d'aquest sistema és abocar a la xarxa elèctrica l'excés produït per un sistema de autoconsum amb la finalitat de poder fer ús d'aquest excés a un altre moment. D'aquesta manera, la companyia elèctrica que proporciona electricitat quan la demanda és superior a la producció del sistema de autoconsum, descomptarà en el consum de la xarxa de la factura, els excessos abocats a la mateixa.

En països com EE.UU ja existeix aquest sistema i es diu crèdit elèctric, està present en més de 40 estats. Països de la Unió Europea com Itàlia, Bèlgica i Alemanya també tenen aquest sistema de balanç net. A Itàlia s'abona el doble i no es paga pel que es consumeix, a Alemanya s'aporta, a més, una cosina pel autoconsum i a Bèlgica s'aplica un sistema híbrid de cosines i certificats verds.

En el cas d'Espanya, la situació és una mica diferent. L'autoconsum està regulat amb una normativa una mica dispersa. La llei regula les activitats destinades al subministrament d'energia elèctrica, consistents en la seva generació, transport, distribució, serveis de recarrega energètica, comercialització i intercanvis intracomunitaris i internacionals, així com la gestió econòmica i tècnica del sistema elèctric. La normativa segueix en la línia d'establir l'obligatorietat d'inscriure les instal·lacions de autoconsum en el RAIPRE (Registre Administratiu d'Instal·lacions Productores en Règim Especial). Això es realitza a través dels procediments establerts per part de les Comunitats Autònomes. Cal destacar que s'estableix el dret a injectar energia elèctrica a la companyia distribuïdora i percebre una retribució econòmica per la venda de la mateixa.

4.9. Barreres de la energia fotovoltaica

Les barreres de la energia fotovoltaica s'han classificat en quatre grans grups:

- Barreres econòmiques:
 - Rendibilitat insuficient pel que es necessita una cosina elevada.
 - Falta d'incentius fiscals.
- Barreres tecnològiques:

- Falta d'iniciatives i d'incentius per al desenvolupament d'instal·lacions innovadores.
- La situació actual del mercat i les actuals línies de suport no presenten suficients incentius per dur a terme projectes nous des del punt de vista tècnic, amb integració arquitectònica, etc.
- Falta de matèria primera al mercat internacional En els últims anys la indústria fotovoltaica s'ha estat proveint de matèries primeres (silici grau solar) que són subproductes o procedeixen de processos compartits amb la indústria electrònica. L'increment de tots dos sectors està produint tensions als mercats, enfront de les quals la fotovoltaica pot veure's perjudicada pel seu esquema econòmic de menor valor afegit. Actualment estan apareixent noves fàbriques de silici que abasteceran a la indústria fotovoltaica.
- Barreres normatives:
 - Escassa adequació administrativa en xarxes elèctriques La energia solar fotovoltaica permet un alt grau de generació distribuïda de l'energia, però seran necessaris canvis progressius a les xarxes de distribució i transport, evolucionant cap a "xarxes intel·ligents" (smart grids) perquè aquests avantatges puguin aprofitar-se i acoblar-se a la demanda adequadament.
 - Necessitat de revisar els reglaments

El Reglament Electrotècnic de Baixa Tensió (REBT) [16] no defineix clarament les instruccions a aplicar per a les instal·lacions solars fotovoltaïques. Revisió del Codi Tècnic de l'Edificació (CTE) [13]. El CTE ha suspès un gran impuls a la integració arquitectònica de la tecnologia fotovoltaica, no obstant això el ràpid avanç d'aquesta tecnologia fa necessari revisar el seu contribució en les properes revisions del CTE tenint en compte les especials característiques de l'energia solar fotovoltaica. Hi ha certa dificultat pel autoconsumo de energia generada de manera distribuïda. El autoconsumo d'energia pot ser una de les principals vies de desenvolupament de la tecnologia, recolzat amb mecanismes de compensació de saldos d'energia o "balanç net", però actualment la legislació en vigor no afavoreix aquest tipus de configuracions quan existeixen excedents d'energia.

- Barreres socials:
 - Necessitat de difusió a usuaris potencials:

- Encara que s'ha avançat bastant en els ultimos anys, existeix encara un gran desconeixement entre els usuaris potencials que en el cas de l'energia solar fotovoltaica és el públic en general.
- Necessitat de difusió i formació a Ajuntaments:

Els Ajuntaments poden ser un dels principals impulsors de la energia solar fotovoltaica en l'àmbit de les seves competències sobre el medi ambient.

En relació amb la fiscalitat per part dels Ajuntaments, si bé ha existit un desenvolupament normatiu, en la pràctica l'administració local no ha aplicat les diverses bonificacions per les quals se'ls ha habilitado.

Una de les raons de la falta d'aplicació, a més de la seva repercusió econòmica, ha estat el desconeixement de l'administració local.

És necessari reforçar i promoure que els Ajuntaments posin en pràctica les possibilitats que ofereix la Llei d'Hisendes Locals respecte a concedir mitjançant Ordenances Fiscals, bonificacions en l'impost de construccions, IBI i IAE.

També és necessari completar la formació de tècnics municipals a l'hora d'analitzar i verificar projectes.

- Necessitat de difusió i formació als qui prescriuen (arquitectes, promotors...).

Aquests col·lectius, precisen d'una difusió i formació específica ja que en molts casos el plantejar la energia fotovoltaica aparentment suposa introduir noves dificultats en els projectes. El desconeixement i la falta d'eines per escometre les instal·lacions pot ser l'origen del rebuig.

Els diferents agents que intervenen en el finançament, disseny i construcció d'un edifici no valoren adequadament els beneficis de la instal·lació de captadors solars, principalment, pel desconeixement de la tecnologia i de les diferents solucions constructives existents. Per als arquitectes suposa complicacions i per al promotor suposa un increment de pressupost i possible reducció de superfície edificable.

No es té en compte l'estalvi energètic per a l'usuari final i l'impacte sociològic i educatiu que comporta la instal·lació de captadors fotovoltaics als edificis.

4.10. Marc normatiu actual

L'11 d'abril de 2016 va entrar en vigor la nova llei que regula els peatges de repartir al autoconsum energètic (Real Decreto 900/2015).

El Reial decret aprovat a l'octubre de 2015 diu que les plaques instal·lades abans d'aquesta data deuen estar regularitzades segons l'ordenat, a més d'incloure un impost.

Abans, els usuaris d'energia fotovoltaica usaven energia de la xarxa elèctrica aliena a ells quan ho necessitaven i si tenien excedents de l'energia solar, aquesta era venuda. Amb aquesta llei, els usuaris pagaran un impost per cada placa solar que posseeixin. D'aquesta forma, Espanya s'ha convertit al primer país del món a regular l'energia solar.

Si una persona té excedents energètics, amb la nova llei està obligada a regalar-la

En les residències serà de 9 euros a l'any més IVA per quilowatt de potència en cadascun dels panells que es tingui mentre que en les indústries es pagarà aquesta taxa més una altra variable segons el que es consumeixi.

Aquest decret afecta principalment als usuaris particulars i a les petites empreses i indústries que estaven apostant per l'energia solar fins ara. Una manera per que comerços i fàbriques poguessin aconseguir reduir les seves factures energètiques i millorar la seva competitivitat gràcies a aquest autoconsum que podia veure's amortitzat en un termini màxim de 10 anys.

Les grans corporacions no s'han vist afectades posat que, encara que no s'hagin adaptat a la nova llei, podrien pagar les milionàries multes que comporta la tinença de panells solars.

La llei beneficia a les companyies elèctriques, els qui tenen el monopoli de l'energia a Espanya. Amb aquest 'impost al Sol' es castiga el autoconsum.

Les multes per no haver regularitzat els panells solars poden anar des dels 6 fins als 60 milions d'euros.

5. Descripció de l'àmbit d'actuació

5.1. Introducció

En el present projecte s'estudiaran quatre instal·lacions reals. Dos d'elles pertanyen al sector farmacèutic, una altra al sector automoció i la quarta al sector de gestió i tractament de residus. Sobre les cobertes disponibles, s'estudiarà la implantació de tecnologia solar fotovoltaica de capa fina per cobrir la major part dels seus consums elèctrics.

5.2. Localització geogràfica

Les tres primeres plantes, en endavant planta 1, planta 2 i planta 3 es troben a la localitat de Parets del Vallès. Tant la planta 1 com la planta 2 (Figura 5.1) formen part d'un mateix complex, però atenent a que els seus consums són diferents s'han considerant com a plantes separades, ja que tant a nivell de coberta com a nivell d'instal·lació elèctrica estan aïllades.



Fig. 5.1: Ubicació plantes 1 i 2

Pel que respecta a la planta 3 (Fig. 5.2) es troba a escassos kilòmetres de les dues primeres.



Fig. 5.2: Ubicació planta 3

Per últim la planta 4, es troba també propera a les tres anteriors, però a la localitat de Barberà del Vallès, donada la dificultat d'obtenir dades sobre aquesta instal·lació unit al fet que l'estudiant es trobava realitzant pràctiques a una empresa molt similar van fer que s'optés per realitzar aquest estudi en una altra planta, situada als Hostalets de Pierola a la comarca de l'Anoia.



Fig 5.3: Ubicació planta 4

A la Taula 5.1 es troben les coordenades geogràfiques de localització de les 4 instal·lacions:

Planta	Latitud	Longitud	Activitat
1	41,560404	2,236425	Indústria farmacèutica
2	41,560147	2,237914	Indústria farmacèutica
3	41,560836	2,232414	Indústria automovilística
4	41,535067	1,799326	Tractament i gestió de residus

Taula 5.1 Emplaçament Plantes

5.3. Irradiació solar i climatologia de la zona

Les quatre plantes es troben a la província de Barcelona i aproximadament el nivell d'irradiació solar de totes elles és el que es pot trobar a Fig. 5.4.

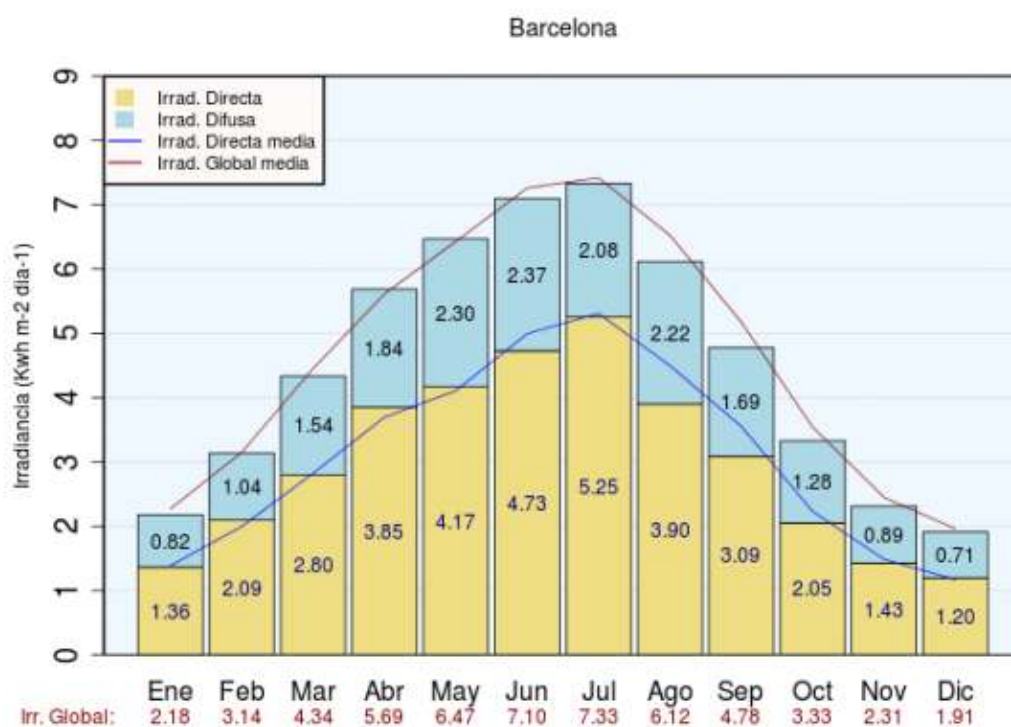


Fig. 5.4 Irradiació solar a la província de Barcelona

Pel que fa a la climatologia, Parets del Vallès gaudeix d'un clima suau i càlid, amb una temperatura mitjana de $15,9^{\circ}\text{C}$ i precipitacions de 625 mm a l'any, distribuïdes al llarg de tots els mesos. Es pot observar la distribució amb més detall a la Fig. 5.5.

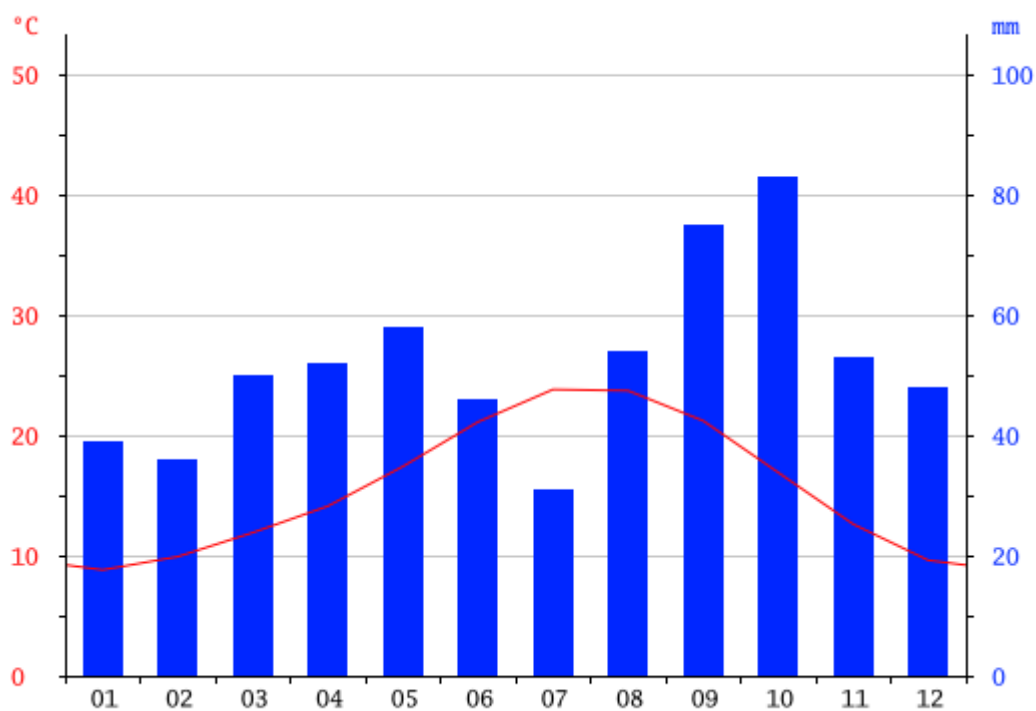


Fig. 5.5 Climatologia Parets del Vallès

En el cas dels Hostalets de Pierola, és tracta d'un clima força similar al de parets del Vallès, amb una temperatura mitjana lleugerament inferior ($14,6^{\circ}\text{C}$) i una pluviometria de 634 mm anual. A la Fig. 5.6 podem veure la distribució.

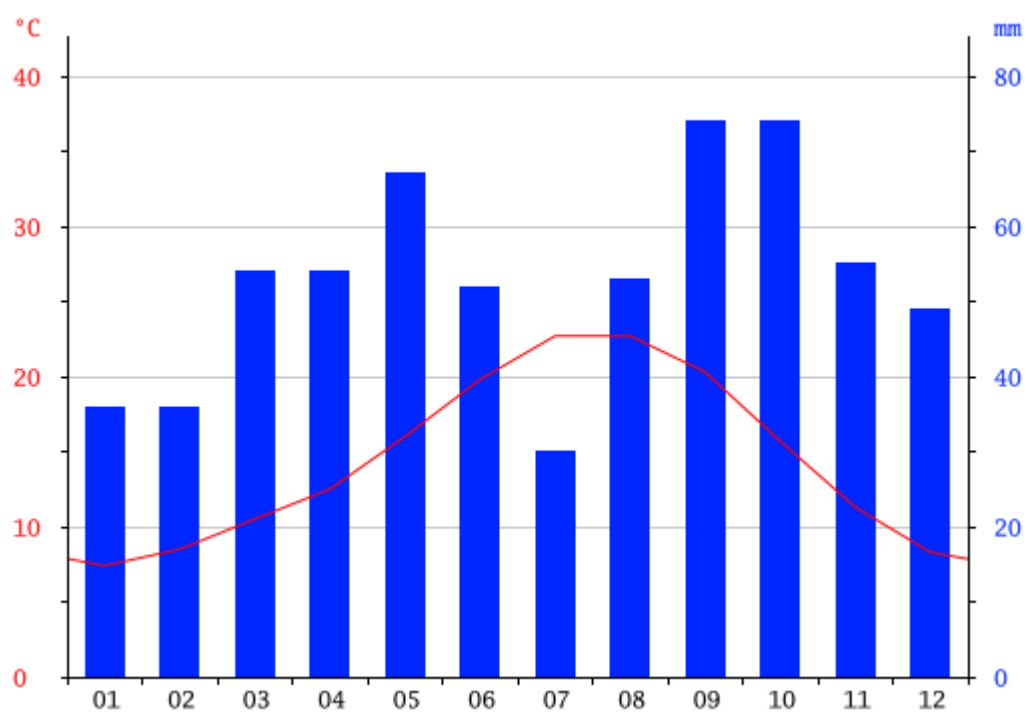


Fig. 5.6: Climatologia Hostalets de Pierola

6. Estudi tècnic

6.1. Consideracions prèvies

Anteriorment ja s'ha exposat que les plantes d'estudi es troben d'una banda a Parets del Vallès i l'última d'elles a els Hostalets de Pierola.

Les cobertes de les quatre plantes objecte d'estudi tot i tenir la major part de la seva superfície lliure, també contenen alguns elements que limiten l'espai disponible per a la instal·lació de les lones fotovoltaïques entre els quals trobem:

- Antenes telefòniques, de ràdio i/o parallamps.
- Canalons per aigües pluvials.
- Conductes de ventilació, ventiladors i/o equips de climatització.

Tots aquests elements no només limiten l'espai disponible a coberta, sinó que també cal considerar que calen zones de pas, perquè els operaris hi accedeixen, per realitzar reparacions i/o tasques de manteniment. Així doncs, sobre la superfície total de la coberta caldrà descomptar un percentatge de la mateixa a aquest efecte, s'ha considerat que aquest percentatge podria rondar el 20% de la superfície total.

Les dades de situació i superfície de coberta es troben a la taula 6.1.:

Planta	Municipi	Superfície de coberta (m ²)	Superfície ocupada (m ²)	Superfície disponible (m ²)
1	Parets del Vallès	1.869,00	373,80	1.495,20
2	Parets del Vallès	1.720,44	344,09	1.376,35
3	Parets del Vallès	2.145,02	429,00	1.716,02
4	Els Hostalets de Pierola	21.172,09	2.117,21	19.054,88

Taula 6.1: Superfícies de coberta.

D'altra banda cal tenir en compte quins són els consums de cadascuna de les plantes, ja que aquests seran el punt de partida pel càlcul de la instal·lació. En altres paraules,

s'intentarà cobrir el màxim de la potència de cada planta, sent la superfície de coberta disponible el factor limitant, per la potència màxima que podrà arribar a proporcionar la nostra instal·lació fotovoltaica.

També cal tenir en consideració que l'orientació de les cobertes, també coneguda com a angle d'azimut, no és modificable, ja que ve determinada per la pròpia construcció, tampoc ho és la inclinació de les cobertes i en conseqüència la de la lona fotovoltaica que es trobarà adherida a la mateixa.

6.2. Sistema solució

Com s'ha comentat anteriorment el sistema solució triat és el fotovoltaic de capa fina concretament el de tecnologia CIGS que correspon a les inicials dels elements que les componen (coure, Indi, Gali i Seleni).

Donat que la legislació espanyola actual no permet injectar energia a la xarxa, la nostre instal·lació fotovoltaica, es connectarà alternativament a bateries o a un inversor, per subministrar corrent alterna a la planta.

A continuació es descriuran els elements que formen part del sistema solució proposat.

6.2.1. Lones fotovoltaiques

Les lones fotovoltaiques triades per al cas d'estudi són de la companyia americana Solopower amb seu central i fàbrica a Portland, Oregon (Estats Units d'Amèrica).

En l'actualitat i des de l'any 2010, l'empresa Solopower ha instal·lat lones fotovoltaiques que actualment permeten una producció elèctrica de 70 MW anuals, que podrien arribar a 220 MW si aquestes es trobessin emplaçades en zones amb major irradiació o estessin orientades i inclinades en posicions òptimes.

Pel que fa al material semiconductor, és dipositat sobre un substracte d'acer inoxidable.

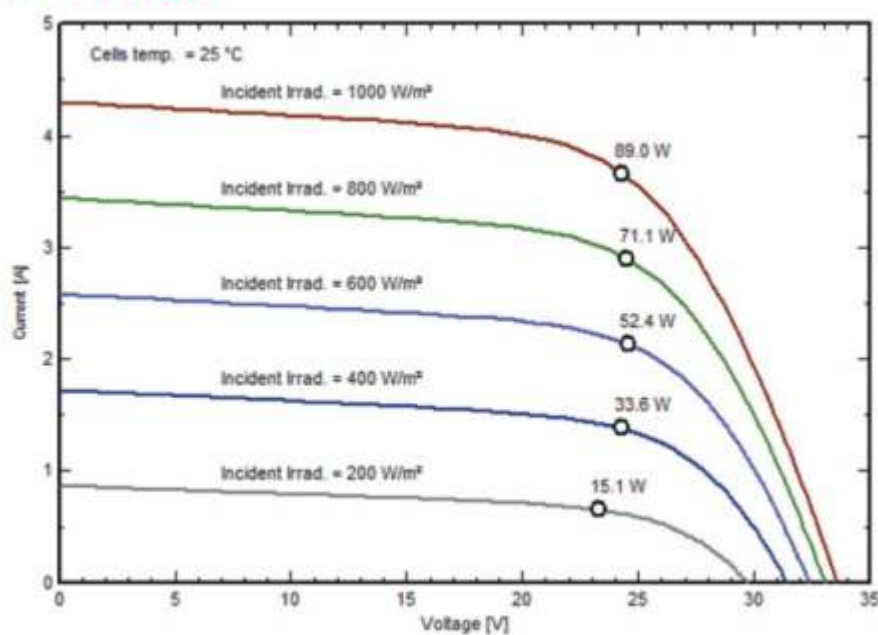
Tots els mòduls fabricats per Solopower compleixen amb les normatives IEC / UL.

S'estudiaran tres models diferents de lones fotovoltaiques, per veure quin d'ells s'adapta millor a les característiques de les diferents plantes.

- Producte 1: Solopanel model SP1

El model SP1 és el de menor potència de sortida i dimensions més reduïdes a la Figura 6.1 es troben les corbes de voltatge i intensitat en funció del nivell d'irradiació solar.

IV CURVES



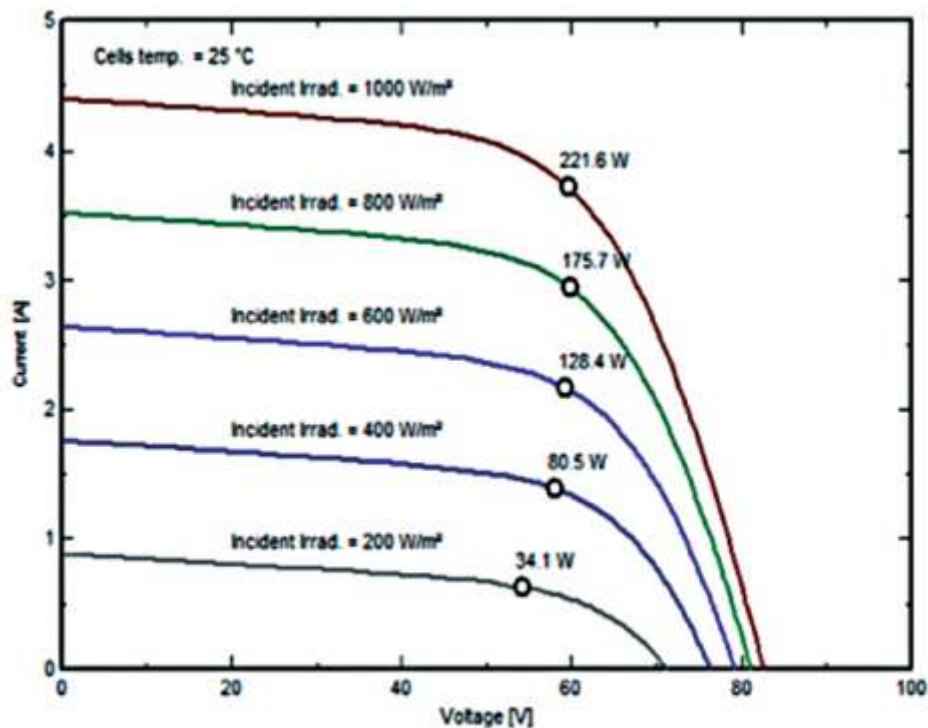
Current (A) vs. Voltage (V) at various Irradiance levels

Figura 6.1: Gràfic IV SP1

La resta de característiques es poden trobar a l'annex B

- Producte 2: Solopanel model SP3S

El producte 2 és considerablement més gran que l'anterior tot i que té un rendiment similar, a la figura 6.2 es troba el gràfic que relaciona intensitat i voltatge en funció de la irradiació global.



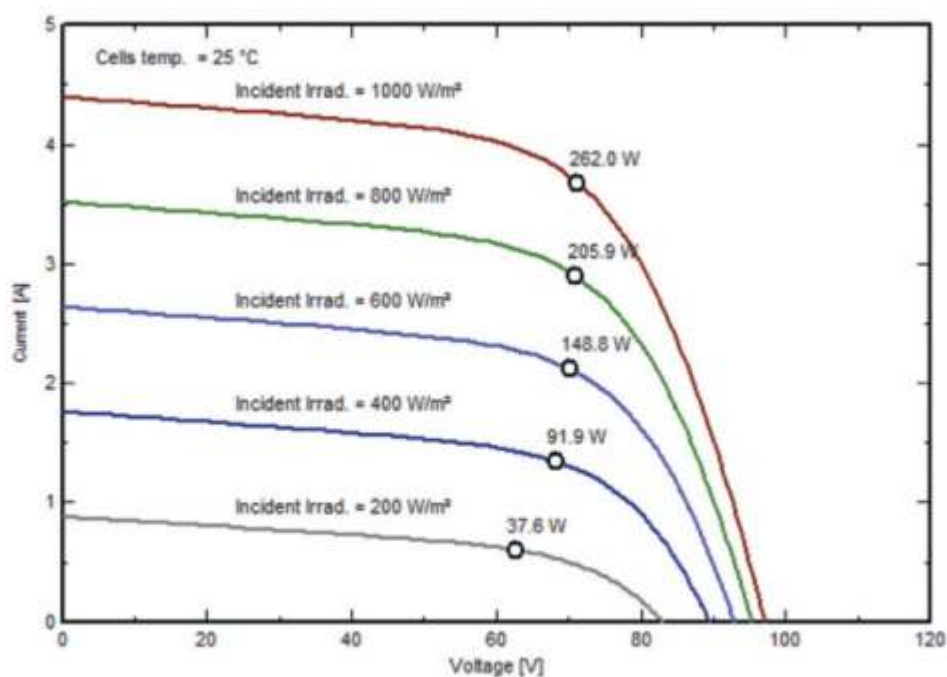
Current (A) vs. Voltage (V) at various Irradiance levels

Fig.6.2: Gràfic IV SP3S

Les característiques restants es veuen reflexades a l'annex B.

- Producte 3: Solopanel model SP3L

Aquest model, és de dimensions més grans amb una potència lleugerament superior al SP3S, però aquesta potència superior el penalitza amb un rendiment menor que els altres dos productes. La figura 6.3 mostra la relació entre intensitat i voltatge en funció del nivell d'irradiació global.



Current (A) vs. Voltage (V) at various Irradiance levels

Fig. 6.3: Gràfic IV SP3L

Les característiques tècniques restants es troben a l'annex B

6.2.2. Equip inversor

Per tal de transformar tota la potència elèctrica obtinguda en corrent continu es fa necessària la instal·lació d'inversors en el nostre cas s'ha triat el model 10 TL de la marca INGECON. Les seves característiques es troben a la taula 6.5.

DADES DE L'INVERSOR		
Fabricant		
Model		
Característiques elèctriques	Valor	Unitat
Valors d'entrada (DC)		
Rang de potència del camp FV	11,4 – 12,9	kWp

Rang de tensió MPP	155 – 450	V
Rang de tensió DC	125 - 550	V
Corrent màxima DC per MPPT	22	A
Nombre d'entrades DC	12	-
MPPT	3	
Valors de sortida (AC)		
Potència nominal	11	kW
Corrent màxima AC	17	A
Tensió nominal AC	400	V
Freqüència nominal AC	50/60	Hz
Cosinus phi	1	-
THD	<3	%
Rendiment	-	-
Eficàcia màxima	96,8	%
Euroeficiència	95,2	%
Refrigeració per aire	234	m ³ /h
Consum en stand-by	<30	W
Temperatura de funcionament	(-20, 70)	°C
Humitat relativa (sense condensació)	0-95	%

Taula 6.5

6.2.3. Altres components

Cablejat elèctric

Serà necessari connectar les lones fotovoltaïques tant amb els equips inversors, com amb l'alimentació de la planta.

En aquest cablejat es produirà una pèrdua d'energia en forma de calor, s'intentarà escollir un conductor que uneixi lleugeresa i minimitzi les pèrdues. El cablejat es dimensionarà seguint els criteris del REBT.

6.2.4. Sistema de medició

Caldrà instal·lar un sistema de mesura adequat, per poder conèixer en tot moment quina és la potència generada per les lones fotovoltaïques i poder regular quina part dels consums de la planta alimenten aquestes.

6.3. Càlculs

Per a la realització dels càlculs s'ha optat pel software de simulació PVsyst versió 6.4.7.

Per l'obtenció de les dades meteorològiques s'ha valorat la utilització de diferents bases de dades, d'una banda les que ofereix el programa Meteonorm i de l'altre les de la web del Photovoltaic Geographical Information System (PGIS) finalment s'ha optat per les del PGIS ja que s'ha pogut comprovar que ofereixen una precisió més elevada.

Els valor referents a l'emplaçament, consum, superfície de coberta, azimuth i inclinació es poden trobar a la taula 6.6.

Planta	1	2	3	4
Latitud	41,56	41,56	41,56	41,54
Longitud	2,24	2,24	2,23	1,80
Activitat	Indústria farmacèutica	Indústria farmacèutica	Indústria automovilística	Tractament i gestió de residus
Municipi	Parets del Vallès	Parets del Vallès	Parets del Vallès	Els Hostalets de Pierola
Consum (W/app)	84.000,00	56.000,00	112.000,00	140.000,00
Superfície de coberta (m ²)	1.869,00	1.720,44	2.145,02	21.172,09
Superfície ocupada (m ²)	373,80	344,09	429,00	2.117,21
Superfície disponible (m ²)	1.495,20	1.376,35	1.716,02	19.054,88
Azimut	13°	13°	4°	55°
Inclinació	8°	8	6°	6°

Taula 6.6 Dades d'estudi de les plantes

A partir de totes les dades esmentades anteriorment, es simulen les quatre plantes, amb els 3 models de lona fotovoltaica triats, obtenint un total de 12 simulacions, els resultats de les quals es presentaran al següent capítol.

7. Resultats energètics

Donat que el nombre de simulacions realitzades és relativament elevat a fi de que l'anàlisi dels seus resultats sigui més entenedora, en primer lloc s'analitzarà planta per planta amb els diferents productes, quin percentatge de la demanda total pot cobrir la instal·lació fotovoltaica. Seguidament es mostraran els resultats numèrics obtinguts a la simulació.

- Planta 1

Abans de realitzar la simulació, el propi software ja ens avisava de que la instal·lació fotovoltaica no era suficient per cobrir la totalitat de la demanda. Finalment es van obtenir uns percentatges d'un 30% pels productes SP1 i SP3L i un 35% en el cas del SP3S.

A la taula 7.1 podem trobar el resum de les diferents simulacions de la planta 1.

Planta 1	Model SP1	Model SP3S	Model SP3L
nº mòduls	1703	688	596
nº mòduls en sèrie	13	4	4
nº mòduls en paral·lel	131	172	149
Potència global (kWp)	153	172	155
Superfície mòduls (m²)	1486	1487	1494
Energia disponible (MWh/any)	224,1	262,5	225,42
Consum (MWh/any)	736	736	736

Taula 7.1 Dades instal·lació planta 1

- Planta 2

Com en el cas anterior, el software ens avisa que el sistema instal·lat no podrà satisfer la totalitat de la demanda de la planta. En aquest cas, els mòduls SP1 i SP3L cobreixen un 40% de les necessitats i el SP3S un 48% de les mateixes. Aquest augment en el percentatge de cobertura ve donat fonamentalment pel fet que aquesta planta té un consum inferior i una superfície de coberta similar a l'anterior.

A la taula 7.2 podem trobar el resum de les diferents simulacions de la planta 2.

Planta 2	Model SP1	Model SP3S	Model SP3L
nº mòduls	1573	636	548
nº mòduls en sèrie	13	4	4
nº mòduls en paral·lel	121	159	137
Potència global (kWp)	142	159	142
Superfície mòduls (m²)	1373	1375	1373
Energia disponible (MWh/any)	207,9	243,8	208,2
Consum (MWh/any)	491	491	491

Taula 7.2: Dades instal·lació planta 2

- Planta 3

Com en els dos casos anteriors, el software ens avisa que el sistema proposat no serà capaç de cobrir la totalitat de la demanda energètica. En aquest cas i donat que el consum d'aquesta planta és sensiblement superior al de les dues anteriors els percentatge del consum cobert pels mòduls SP1 i SP3L és d'un 25% i en el cas del SP3S d'un 40%.

A la taula 7.3 podem trobar el resum de les diferents simulacions de la planta 3.

Planta 3	Model SP1	Model SP3S	Model SP3L
nº mòduls	1963	792	684
nº mòduls en sèrie	13	4	4
nº mòduls en paral·lel	151	198	171
Potència global (kWp)	177	198	178
Superfície mòduls (m²)	1713	1712	1714
Energia disponible (MWh/any)	254,1	298,1	254,6

MWh/any)			
Consum (MWh/any)	981	981	981

Taula 7.3: Dades instal·lació planta 3.

- Planta 4

L'última planta no presenta el problema de les anteriors, disposa d'una superfície de coberta 10 vegades major, fet que permet la instal·lació d'un major nombre de lones fotovoltaïques i una cobertura del 100%, fins i tot en moments puntuals es produeixen pèrdues, pel fet que les bateries estan plenes i el consum de la instal·lació cobert.

A la taula 7.4 presentem els resultats de la planta 4.

Planta 4	Model SP1	Model SP3S	Model SP3L
nº mòduls	21827	8816	7600
nº mòduls en sèrie	13	4	4
nº mòduls en paral·lel	1679	2204	1900
Potència global (kWp)	1964	2204	1976
Superfície mòduls (m²)	19047	19055	19048
Energia disponible (MWh/any)	2792	3271	2801
Consum (MWh/any)	1226	1226	1226

Taula 7.4: Dades instal·lació planta 4.

L'informe complet de resultats es pot trobar a l'annex C

A la vista dels resultats exposats, podríem concloure, que a nivell tècnic pot ser interessant la instal·lació de tecnologia fotovoltaica a les cobertes de les quatre plantes. Decantant-nos pel mòdul SP3S que és el que en un mateix espai ens permet cobrir un major percentatge de la demanda. Així doncs, un cop comprovada la viabilitat tècnica del projecte, caldrà realitzar una anàlisi econòmica per determinar la rendibilitat del mateix.

8. Resultats econòmics

8.1. Consideracions prèvies

En l'apartat anterior s'ha determinat que el mòdul SP3S era el que ens permetia cobrir una major part de la demanda, així doncs, l'estudi econòmic és limitarà a la instal·lació d'aquest model.

En l'apartat de costos es tindran en compte els següents elements/conceptes:

- Lones fotovoltaïques (Solopower SP3S)
- Bateries
- Cablejat
- Manteniment
- Peatge de recolzament

En l'apartat d'ingressos es considerarà, que tota aquella energia, que s'hagi obtingut a través de la instal·lació fotovoltaïca, és energia que no s'ha comprat a la companyia elèctrica i per tant és un ingrés.

S'ha considerat un préstec a 30 anys per finançar la inversió, i una vida útil de les plaques de 30 anys (garantida pel fabricant).

8.2. Estudi d'inversió

L'alt cost del manteniment dels equips units als peatges de recolzament, fa que en el cas de les plantes 1, 2 i 3 la inversió no sigui viable. En el cas de la planta de tractament de residus, donat l'alta generació d'electricitat, la viabilitat econòmica és acceptable.

A l'annex C es poden trobar els càlculs de l'inversió per la planta 4, a continuació es resumeixen els valors més significatius:

- Cost de la inversió: 4.940.745 €
- Cost de manteniment: 40.000 €

- Peatge de recolzament: 30.000€
- VAN: 1.380.789,344 €
- Payback: 20 anys
- TIR: 5 %

Així doncs es valora positivament la implantació de tecnologia fotovoltaica Solopower SP3S a la planta 4.

9. Impacte mediambiental

El nucli central d'aquest projecte és la tecnologia solar fotovoltaica, que per les seves característiques no genera emissions contaminants, evitant així l'efecte hivernacle i la reducció de la capa d'ozó.

Les instal·lacions fotovoltaiques tenen grans avantatges per aconseguir un desenvolupament sostenible.

Però durant la fase de construcció es produeixen emissions de diversos vapors metàl·lics i altres elements contaminants.

D'altra banda, durant la seva vida útil produeixen un estalvi d'emissions en generar energia elèctrica a partir d'energia solar.

L'impacte d'aquesta instal·lació és nul tant al medi físic com al medi biòtic és nul. A nivell visual, només es pot percebre des de l'aire. També caldria afegir que tant la fase de muntatge com la de manteniment afecten lleugera però positivament a l'ocupació.

Pel que fa a la petjada de carboni, estudiarem el cas concret de la planta 4. Durant la fabricació i funcionament de les plaques aquestes produeixen unes emissions de 3.943.6 t CO₂, però alhora estalvien 28.165,8 t CO₂. Això fa que als 5 anys de la posada en marxa de la instal·lació ja s'hagin equilibrat les emissions amb l'estalvi.

Conclusions

Al present projecta s'ha estudiat l'aplicació de la tecnologia solar fotovoltaica de capa fina a 4 plantes diferents de Catalunya.

En primer lloc i partir de simulacions, s'ha determinat que el producte amb millor rendiment per totes les plantes és el Solopower model SP3S.

D'entre aquestes quatre plantes, s'ha determinat que les tres primeres, atesa la seva superfície disponible de coberta només poden abastir una petita fracció (d'entre el 25 i el 40 %). Aquesta petita part de producció elèctrica, unida al fet que l'estalvi econòmic prové del fet de no haver de consumir electricitat de la xarxa, fa que tant per motius tècnics com de viabilitat econòmica es decideixi no instal·lar la tecnologia fotovoltaica.

A la quarta planta, la situació és completament diferent, amb una superfície de coberta 10 cops superior a les altres plantes, la instal·lació de tecnologia fotovoltaica de capa fina, permet cobrir el 100% de les necessitats energètiques durant les hores de sol. L'estalvi produït pel fet de no haver de comprar electricitat a la xarxa durant les franges en que aquesta és més cara, assegura la rendibilitat de la inversió.

Les dades econòmiques obtingudes reforcen aquesta hipòtesi obtenint-se un VAN de 1.380.789 amb un TIR del 0,05%. Aquestes xifres millorarien encara més, si s'hagués mantingut el marc legal de quan es va iniciar la confecció d'aquest projecte, però l'aprovació del Real Decreto 900/2015, conegut popularment com a " impost al sol ", rebaixa el marge de benefici econòmic i fa que alternatives sostenibles com la tecnologia de capa fina fotovoltaica siguin menys atractives per inversors i empresaris.

Per últim, l'estalvi en les emissions de carboni supera amb escreix, l'emissió generada durant la construcció de les cèl·lules fotovoltaïques. Fent que passats 5 anys de l'inici de la seva vida útil, ja s'hagin igualat ambdós valors.

Agraïments

A tots. Gràcies.

Bibliografia

Bibliografia complementària

<http://www.energia-solar.org.es/m-energia-fotovoltaica.html>

<http://econotecnia.com/historia-de-los-paneles-solares.html>

CREUS SOLÉ, Antonio : *Energías Renovables*. Barcelona, Editorial Ceysa 2000.

Real decreto 900/2015